

11 DE JULIO DE 2017



OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA CONTRATADA EN UNA INSTALACIÓN DE ALTA TENSIÓN.

TRABAJO FÍN DE GRADO

ALUMNO: FRANCISCO MARÍN JORGE
TUTOR: JULIO USAOLA GARCÍA

UNIVERSIDAD CARLOS III, DE MADRID

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	OBJETO.....	5
3.	TARIFAS ELÉCTRICAS	6
3.1	TARIFAS DE BAJA TENSIÓN:	6
3.1.1	Tarifa 2.0A:.....	6
3.1.2	Tarifa 3.0A:	6
3.2	TARIFAS DE ALTA TENSIÓN:.....	6
3.2.1	Tarifa 3.1A:	6
3.2.2	Tarifas 6:.....	7
4.	MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN DEL TÉRMINO DE POTENCIA	14
4.1	MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA PARA LA TARIFA 3.1A.....	14
4.2	MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA PARA LA TARIFA 6	15
5.	CASOS PRÁCTICOS.....	17
5.1.	CASO PRÁCTICO 1: EMPRESA 1 (TARIFA 3.1A)	17
5.2.	CASO PRÁCTICO 2: EMPRESA 2 (TARIFA 6.1A)	21
5.3.	CASO PRÁCTICO 3: EMPRESA 3 (TARIFA 6.2)	27
6.	CONCLUSIONES	30
7.	BIBLIOGRAFÍA	31
8.	ANEXO I: referencias de tablas	32
9.	ANEXO II: referencias de gráficos	33
10.	ANEXO III: referencias de ilustraciones	34

1. INTRODUCCIÓN

La electricidad es un servicio público de interés general, regulado por el Estado.

Los tres objetivos básicos que la regulación del sector eléctrico debe garantizar son: garantizar el suministro eléctrico, calidad del suministro y realizarlo al menor coste posible (Ley 24/2013, del Sector Eléctrico).

Las actividades del sector eléctrico son: la generación, el transporte, la distribución y la comercialización.

La electricidad es un producto en cuanto a la producción de energía eléctrica y su venta sometido a las reglas del mercado.

Las actividades con carácter liberalizado son la generación y la comercialización y las actividades con carácter regulado el transporte y la distribución (Ley 24/2013). Del transporte se ocupa Red Eléctrica que lleva la infraestructura de redes de transporte de toda España y se encarga de satisfacer las necesidades de la red, es decir, se encarga de la gestión técnica del sistema eléctrico. De la distribución se encargan las compañías eléctricas que se reparten por zonas la distribución eléctrica. Las comercializadoras se ocupan de la parte de la comercialización realizando ofertas eléctricas para conseguir clientes. Y de la parte de generación se encargan empresas generadoras que están sometidas al juego de las reglas de mercado.

La liberalización del mercado ha supuesto abandonar el modelo de monopolio regulado y desarrollar un nuevo entorno basado en las fuerzas del mercado.

Las tarifas eléctricas son el instrumento mediante el cual los agentes del sector eléctrico recuperan los costes previstos destinados a retribuir el servicio del suministro de energía eléctrica.

Las tarifas de acceso constituyen el cargo por el uso de las redes de transporte y distribución. Su cuantía es fijada por el Estado. Incluye todos los costes del suministro eléctrico excepto los costes de generación. Los agentes encargados de recaudarla son los comercializadores.

Vamos a pasar a describir las principales instalaciones eléctricas de alta tensión con las que nos encontramos desde las Centrales de Generación hasta los Centros de Transformación, así como los niveles de tensión característicos en cada una de ellas.

Cada grupo generador está asociado a un transformador elevador, encargado de elevar la tensión de generación a tensiones mayores (132, 220, 400 kV). La energía es llevada a las redes eléctricas de transporte y estas redes se encargan de la transmisión, a gran escala, de la energía desde los distintos centros de generación hasta los centros de consumo. En estas redes, se distinguen principalmente dos tipos de instalaciones: líneas eléctricas de transporte y subestaciones de interconexión.

A medida que se acerca al usuario final, se reducen las tensiones a niveles más bajos, llamados tensiones de reparto (66-45 kV). Las subestaciones de distribución son las encargadas de bajar la tensión de alta tensión a media tensión por medio de las cuales se realiza la distribución de la energía eléctrica a través de las redes de media tensión (15-20-25 kV). Estas redes de media tensión se reparten y van a parar a los transformadores finales que suministran a los usuarios en baja tensión (400 V), a estos transformadores se les llama transformadores de distribución.

Aunque según la normativa vigente se considera alta tensión a partir de 1000 V, a la hora de hablar, diferenciamos entre media tensión (hasta 25kV), alta tensión (de 25 hasta 132 kV) y muy alta tensión (de 132 hasta 400 kV).

Existen grandes clientes que se conectan a la red de media y alta tensión, son los consumidores que nos ocupan en este proyecto.

2. OBJETO

Con el presente Trabajo de Fin de Grado se pretende optimizar la potencia a contratar de los clientes que tienen contratadas tarifas eléctricas de Alta Tensión. Las tarifas eléctricas de Alta Tensión son: la tarifa 3.1A, con tres períodos y las tarifas 6.1A, 6.1B, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5, con seis períodos.

Todas las facturas eléctricas tienen una parte fija y una parte variable. La parte fija, la que nos interesa, es el término de potencia (TP) y va a depender de la potencia y de la tarifa que tengamos contratada. La parte variable se la conoce como término de energía (TE) y este concepto va a depender del consumo de energía.

$$TP = K [\text{€/kW}] * P [\text{kW}]$$

$$TE = \text{precio} [\text{€/kWh}] * \text{Energía consumida} [\text{kWh}]$$

El coste del término de energía (en la fórmula anterior el precio [€/kWh]) se divide en dos conceptos: el peaje ATR, que cobra la distribuidora a todos los clientes a los que suministra energía y el precio que acuerda la comercializadora con el cliente. La comercializadora incluirá en su factura los costes correspondientes a los peajes si gestiona el contrato ATR del cliente (Ley 24/2013).

El término de potencia es un concepto fijo de la facturación eléctrica que va a depender de la potencia contratada en cada período. La modificación de la potencia contratada se puede realizar cada año, no conlleva coste y podemos obtener un ahorro bastante considerable. Vamos a calcular la potencia que hay que contratar para reducir al mínimo este concepto a través de unos programas realizados con el software de programación MATLAB.

3. TARIFAS ELÉCTRICAS

Se van a exponer tanto las tarifas de Baja Tensión como las de Alta tensión.

Según en RD 1164/2001, las tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica vienen reflejadas en su artículo 7, en el que se definen las tarifas de acceso. Posteriormente se modificaron las temporadas eléctricas y los tipos de días, en la Orden ITC 2794/2007. Según el nivel de tensión las clasifica como:

3.1 TARIFAS DE BAJA TENSIÓN: aplicable a los suministros con tensiones no superiores a 1 kV.

3.1.1 Tarifa 2.0A: tarifa simple para baja tensión, se podrá aplicar a cualquier suministro de BT con potencia contratada no superior a 15 kW.

3.1.2 Tarifa 3.0A: tarifa general para baja tensión, se podrá aplicar a cualquier suministro de BT con potencia contratada igual o superior a 15 kW.

3.2 TARIFAS DE ALTA TENSIÓN: aplicable a los suministros con tensiones superiores a 1000 V.

3.2.1 Tarifa 3.1A: tarifa de tres períodos para tensiones de 1 a 36 kV. Con potencia contratada en todos los períodos tarifarios igual o superior a 15 kW e igual o inferior a 450 kW.

❖ Tarifas 3.0A y 3.1A:

Se facturará teniendo en cuenta 3 períodos: punta, llano y valle. Las potencias contratadas en los diferentes períodos serán tales que la potencia contratada en un período tarifario (P_{n+1}) sea siempre mayor o igual que la potencia contratada en el período tarifario anterior (P_n).

PERÍODO HORARIO	DURACIÓN (HORAS/DÍA)
Punta	4
Llano	12
Valle	8

Tabla 3.1

Se consideran horas punta, llano y valle, en cada una de las zonas, las siguientes:

Zona	Invierno			Verano		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
1	18-22	8-18 22-24	0-8	11-15	8-11 15-24	0-8
2	18-22	8-18 22-24	0-8	18-22	8-18 22-24	0-8
3	18-22	8-18 22-24	0-8	11-15	8-11 15-24	0-8
4	19-23	0-1 9-19 23-24	1-9	11-15	9-11 15-24 0-1	1-9

Tabla 3.2

Las zonas en que se divide el mercado eléctrico nacional están relacionadas con las Comunidades Autónomas que se indican:

ZONA 1: Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Castilla y León, La Rioja, Navarra, Aragón, Cataluña, Madrid, Castilla La Mancha, Extremadura, Valencia, Murcia y Andalucía.

ZONA 2: Baleares.

ZONA 3: Canarias.

ZONA 4: Ceuta y Melilla.

El término de potencia a facturar para estas tarifas en cada período de facturación, se calculará de la forma que se establece a continuación:

- Si la potencia máxima demandada, registrada en el período de facturación, estuviere dentro del 85 al 105% respecto de la contratada, dicha potencia registrada será la potencia a facturar.
- Si la potencia máxima demandada, registrada en el período de facturación, fuere superior al 105% de la potencia contratada, la potencia a facturar en el período considerado será igual al valor registrado más el doble de la diferencia entre el valor registrado y el valor correspondiente al 105% de la potencia contratada.
- Si la potencia máxima demandada en el período a facturar fuere inferior al 85% de la potencia contratada, la potencia a facturar será igual al 85% de la citada potencia contratada.

3.2.2 Tarifas 6: Tarifas generales para Alta Tensión. Serán de aplicación a cualquier suministro en tensiones comprendidas entre 1 y 36kV con potencia contratada en alguno de los períodos tarifarios superior a 450kW y a cualquier suministro en tensiones superiores a 36kV. Estas tarifas se diferencian por niveles de tensión. Las potencias contratadas en los diferentes períodos serán tales que la potencia contratada en un período tarifario (P_{n+1}) sea siempre mayor o igual que la potencia contratada en el período tarifario anterior (P_n).

Sus modalidades, en función de la tensión de servicio son:

NIVEL DE TENSIÓN	TARIFA
1 a 36 KV	6.1
36 a 72,5 KV	6.2
72,5 a 145 KV	6.3
Mayor o igual a 145KV	6.4
Conexiones internacionales	6.5

Tabla 3.3

Modalidad de seis períodos. Será de aplicación a las tarifas generales de alta tensión. Para esta modalidad los tipos de días, períodos tarifarios y horarios concretos a aplicar son los que se definen a continuación:

1. **DEFINICIÓN DE TEMPORADAS ELÉCTRICAS Y TIPOS DE DÍAS**

El anexo II de la orden ITC/2794/2007 nos va a dar la definición de temporadas eléctricas y tipos de días.

- A. **Definición de temporadas eléctricas:** A efectos de la aplicación de tarifas, tanto de suministro como de acceso, se considerará el año dividido en temporadas, incluyendo en cada una los siguientes meses:

Para la Península:

Temporada alta con punta de mañana y tarde: Diciembre, enero y febrero.

Temporada alta con punta de mañana: 2.^a quincena de junio y julio.

Temporada media con punta de mañana: 1.^a quincena de junio y septiembre.

Temporada media con punta de tarde: Noviembre y marzo.

Temporada baja: Abril, mayo, agosto y octubre.

Para Baleares:

Temporada alta con punta de mañana y tarde: Junio, julio, agosto y septiembre.

Temporada media con punta de tarde: Enero, febrero, mayo y octubre.

Temporada baja: Marzo, abril, noviembre y diciembre.

Para Canarias:

Temporada alta con punta de mañana y tarde: Septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Temporada media con punta de mañana: Julio y agosto.

Temporada media con punta de tarde: Enero y febrero.

Temporada baja: Marzo, abril, mayo y junio.

Para Ceuta:

Temporada alta con punta de mañana y tarde: Diciembre, enero, febrero y agosto.

Temporada media con punta de mañana: Julio y septiembre.

Temporada media con punta de tarde: Marzo y noviembre.

Temporada baja: Abril, mayo, junio y octubre.

Para Melilla:

Temporada alta con punta de mañana y tarde: Enero y febrero.

Temporada alta con punta de mañana: Julio y agosto.

Temporada media con punta de mañana: Junio y septiembre.

Temporada media con punta de tarde: Diciembre y marzo.

Temporada baja: Abril, mayo, octubre y noviembre.

El inicio de la temporada alta eléctrica coincidirá con el primer día del mes de la temporada alta con punta de mañana y tarde.

- B. **Definición de Tipos de días:** A efectos de la aplicación de tarifas, tanto de suministro como de acceso, se clasifican los días del año eléctrico en diferentes tipos, incluyendo en cada uno los siguientes:

Tipo A: De lunes a viernes no festivos de temporada alta con punta de mañana y tarde.

Tipo A1: De lunes a viernes no festivos de temporada alta con punta de mañana.

Tipo B: De lunes a viernes no festivos de temporada media con punta de mañana.

Tipo B1: De lunes a viernes no festivos de temporada media con punta de tarde.

Tipo C: De lunes a viernes no festivos de temporada baja, excepto agosto para el sistema peninsular, abril para el sistema balear y mayo para los sistemas de Canarias, Ceuta y Melilla.

Tipo D: Sábados, domingos, festivos y agosto para el sistema peninsular, abril para el sistema balear y mayo para los sistemas de Canarias, Ceuta y Melilla.

2. PERIODOS TARIFARIOS

Períodos tarifarios. La composición de los seis períodos tarifarios es la siguiente:

Período 1: Comprende 6 horas diarias de los días tipo A y 8 horas diarias de los días tipo A1.

Período 2: Comprende 10 horas diarias de los días tipo A y 8 horas diarias de los días tipo A1.

Período 3: Comprende 6 horas diarias de los días tipo B y B1.

Período 4: Comprende 10 horas diarias de los días tipo B y B1.

Período 5: Comprende 16 horas diarias de los días tipo C.

Período 6: Resto de horas no incluidas en los anteriores y que comprende las siguientes:

- 8 horas de los días tipo A y A1.
- 8 horas de los días tipo B y B1.
- 8 horas de los días tipo C.
- 24 horas de los días tipo D.

Las horas de este período 6, a efectos de acometida, serán las correspondientes a horas valle.

Se considerarán a estos efectos como días festivos los de ámbito nacional definidos como tales en el calendario oficial del año correspondiente, con exclusión de los festivos sustituibles, así como de los que no tienen fecha fija.

3. HORARIOS A APLICAR EN CADA PERÍODO

Los horarios a aplicar en cada uno de los períodos tarifarios serán los siguientes:

Zona 1: Península:

Período tarifario	Tipo de día					
	Tipo A	Tipo A1	Tipo B	Tipo B1	Tipo C	Tipo D
1	De 10 a 13 h. De 18 a 21 h.	De 11a 19 h.	---	---	---	---
2	De 8 a 10 h. De 13 a 18 h. De 19 a 24 h.	De 8 a 11 h. De 21 a 24 h.	---	---	---	---
3			De 9 a 15 h.	De 16 a 22 h.	---	---
4			De 8 a 9 h. De 15 a 24 h.	De 8 a 16 h. De 22 a 24 h.	---	---
5			---	---	De 8 a 24 h.	---
6	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 24

Tabla 3.4

Zonas 2 y 3: Baleares y Canarias:

Periodo tarifario	Tipo de día					
	Tipo A	Tipo A1	Tipo B	Tipo B1	Tipo C	Tipo D
1	De 11 a 14 h. De 18 a 21h.	De 11a 19 h.	---	---	---	---
2	De 8 a 11 h.	De 8 a 11 h.	---	---	---	---
	De 14 a 18h. De 21 a 24 h.	De 19 a 24 h.				
3			De 9 a 15 h.	De 16 a 22 h.	---	---
4			De 8 a 9 h. De 15 a 24 h.	De 8 a 16 h. De 22 a 24 h.	---	---
5			---	---	De 8 a 24 h.	---
6	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 24

Tabla 3.5

Zona 4: Ceuta y Melilla:

Periodo tarifario	Tipo de día					
	Tipo A	Tipo A1	Tipo B	Tipo B1	Tipo C	Tipo D
1	De 12 a 15 h. De 20 a 23h.	De 11a 19 h.	---	---	---	---
2	De 8 a 12 h.	De 8 a 11 h.	---	---	---	---
	De 15 a 20h. De 23 a 24 h.	De 19 a 24 h.				
3			De 9 a 15 h.	De 17 a 23 h.	---	---
4			De 8 a 9 h. De 15 a 24 h.	De 8 a 17 h. De 23 a 24 h.	---	---
5			---	---	De 8 a 24 h.	---
6	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 8	De 0 a 24

Tabla 3.6

Los programas se han creado para la Zona 1: Península.

El término básico de facturación de potencia, aplicable para todas las tarifas es:

$$FP = \sum_{i=1}^{i=n} t_{pi} P_{fi}$$

Índice “i”= período de la tarifa contratada.

T_{pi}= Coste del término de potencia del período “i”.

P_{ci}= Potencia contratada en el período “i”.

Se facturará la doceava parte del resultado de aplicar la fórmula anterior.

Para la Tarifa 6: la potencia a facturar en cada período será la potencia contratada.

En el caso de que la potencia demandada sobrepase en cualquier período horario la potencia contratada en el mismo, se procederá, además, a la facturación de **todos** y cada uno de los excesos registrados en cada período, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_{EP} = \sum_{i=1}^{i=6} K_i \times 234 \times A_{ei}$$

Donde:

K_i=coeficiente que tomará los siguientes valores dependiendo del período tarifario i:

Período	1	2	3	4	5	6
K _i	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,37

Tabla 3.7

La constante 234 [pts/kW] sería correcta para calcular el exceso en pesetas. En euros hay que utilizar el valor 1,4064 [€/kW].

A_{ei}= se calculará de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$A_{ei} = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=n} (P_{dj} - P_{ci})^2}$$

Donde:

P_{dj} = potencia demandada en cada uno de los cuartos de hora del período i en que se haya sobrepasado P_{ci} .

P_{ci} = potencia contratada en el período i en el período considerado.

Estas potencias se expresarán en kW.

Los excesos de potencia se facturarán mensualmente.

4. MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN DEL TÉRMINO DE POTENCIA

Para realizar la optimización del término de potencia de suministros de alta tensión se ha decidido utilizar MATLAB, por ser un programa muy potente, que permite trabajar con grandes paquetes de datos.

Estos programas de optimización están preparados para la zona 1 que comprende a todas las Comunidades Autónomas de la Península Ibérica. Se podrían utilizar los programas para las zonas 2,3 y 4 con sólo modificar el horario.

Los programas están preparados para que los datos de la curva de consumo se den en horas. Sabemos que el maxímetro ofrece medidas cuarto-horarias, pero se ha hecho así para simplificar el programa ya que no afecta demasiado al resultado final. En caso de darnos medidas cuarto-horarias cogeríamos la mayor de cada hora para poder utilizar nuestros programas. Tendremos que preparar nuestro Excel para que el programa pueda utilizar los datos de las medidas del maxímetro.

4.1 MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA PARA LA TARIFA 3.1A

La tarifa 3.1A es una tarifa de alta tensión que tiene 3 períodos: punta, llano y valle; siendo las horas punta donde el coste del término de potencia es mayor y las horas valle donde es menor.

Teniendo en cuenta como se realiza el cálculo del término de potencia, hemos diseñado el programa para que nos de las potencias óptimas a contratar en cada período.

$$FP = \sum_{i=1}^{i=n} t_{pi} P_{fi}$$

- Si la potencia máxima que marca el maxímetro, en el período facturado, es menor al 85% de la potencia contratada, se factura el 85% de la potencia contratada.
- Si la potencia máxima que marca el maxímetro, en el período facturado, está entre el 85% y el 105% de la potencia contratada, se factura la potencia del maxímetro.
- Si la potencia máxima que marca el maxímetro, en el período facturado, es superior al 105% de la potencia contratada. Se facturará la potencia registrada por el maxímetro más el doble de la diferencia entre el valor registrado y el valor correspondiente al 105% de la potencia contratada.

Sabiendo que la facturación es mensual y que sólo se tiene en cuenta la potencia máxima del maxímetro que registra en cada uno de los tres períodos en un mes concreto de facturación se decide crear un vector con cada período (1,2 y 3) y cada uno de estos vectores con las 12 medidas máximas de cada mes del año.

Posteriormente se analizan todas las potencias de cada uno de los 3 vectores para saber que potencia se debe facturar. Para ello vamos a ir realizando simulaciones de la potencia contratada empezando por la máxima que marca el maxímetro en cada período y restado 1kW sucesivamente. Realizaremos aproximadamente 150 simulaciones para llegar a la potencia óptima a contratar en cada período. Se han obtenido para estudiar el término de potencia en cada simulación 3 vectores TP₁, TP₂ y TP₃.

Para obtener directamente las potencias óptimas a contratar en cada período se buscan los mínimos en TP₁, TP₂ y TP₃ y una vez que sabemos en qué simulación cada término de potencia se hace mínimo, se resta a la potencia máxima del período concreto el número de simulación que hace mínimo a ese TP. Así obtenemos la potencia óptima a contratar en cada período.

Se tendrán en cuenta las siguientes restricciones:

- a) Las potencias contratadas en los diferentes períodos serán tales que la potencia contratada en un período tarifario (P_{n+1}) sea siempre mayor o igual que la potencia contratada en el período tarifario anterior (P_n). Si una potencia de un periodo P_{n+1} es menor al del período P_n se igualaría la potencia al del período P_n, para cumplir la restricción.
- b) La potencia óptima a contratar en cualquiera de los períodos no podrá ser superior a 450 kW.

4.2 MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA PARA LA TARIFA 6

La tarifa 6, tiene seis períodos y teniendo en cuenta como se realiza el cálculo del término de potencia, hemos diseñado el programa que nos da las potencias óptimas a contratar en cada período.

$$FP = \sum_{i=1}^{i=n} t_{pi} P_{fi}$$

Y si hay excesos de potencia hay que añadir este concepto al término de potencia:

$$F_{EP} = \sum_{i=1}^{i=6} K_i \times 1,4064 A_{ei}$$

K_i es una constante que depende del período, se ha mostrado su valor en la tabla 3.7.

$$A_{ei} = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=n} (P_{dj} - P_{ci})^2}$$

Este término A_{ei} tiene en cuenta todas las potencias, de cada período, que superen la potencia contratada, de ese período.

Únicamente se han expuesto las fórmulas en las que nos vamos a basar para realizar la optimización de la tarifa de 6 períodos. Estas fórmulas aparecen con todo detalle en el punto 3 de tarifas eléctricas en el apartado de la Tarifa 6.

Se han tenido en cuenta las medidas del máxímetro de 364 días para conseguir una matriz (matriz A) de 52 semanas x 7 días (x 24 horas), se han despreciado las medidas del máxímetro del 31 de diciembre (en caso de año bisiesto se despreciarían las medidas de los días 30 y 31 de diciembre). Trabajaremos con un vector de medidas de 8736 datos para que se pueda conformar esta matriz.

Seguidamente crearemos una matriz (matriz B) de idénticas dimensiones que la anterior 52x7x24 pero de números aleatorios. Más adelante dependiendo de la zona que queremos estudiar (zona: 1,2,3 o 4) y el tipo de día (A,A₁,B,B₁,C y D) hemos ido rellenando esta matriz con los números 1,2,3,4,5 y 6, correspondientes a los períodos. Así se crea una matriz de índices que indicará que período pertenece a cada hora del año.

Con la matriz de índices creada (matriz B) identificaremos en qué período está cada medida registrada por el máxímetro (matriz A). Después se crearán 6 vectores uno por cada período con las medidas de potencia registradas de cada período. Una vez tengamos estos vectores podemos obtener las potencias máximas de cada período en el año de estudio.

Realizaremos entre 500 y 800 simulaciones de la potencia contratada, empezando por la potencia máxima de cada período y hallaremos los vectores correspondientes a cada término de potencia para cada simulación (TP₁, TP₂, TP₃, TP₄, TP₅, TP₆).

Se conocerá que simulación hace mínimo al término de potencia en cada período. Más tarde, sabiendo el valor de la potencia máxima de cada período se resta la simulación correspondiente y así calcularemos la potencia óptima a contratar en cada período.

Cuando ejecutamos el programa, antes de que realice los cálculos deberemos elegir la tarifa que el cliente tiene contratada (6.1A, 6.1B, 6.2, 6.3, 6.4 o 6.5) así el programa podrá elegir el coste de los términos de potencia adecuados para cada período en esa tarifa.

Se tendrá en cuenta la siguiente restricción: las potencias contratadas en los diferentes períodos serán tales que la potencia contratada en un período tarifario (P_{n+1}) sea siempre mayor o igual que la potencia contratada en el período tarifario anterior (P_n). Si una potencia de un período P_{n+1} es menor al del período P_n se igualaría la potencia al del período P_n, para cumplir la restricción.

Una vez ejecutado el programa podemos observar lo siguiente: si la potencia óptima a contratar en cualquiera de los períodos fuese justo la potencia máxima del período menos el número de simulaciones elegidas tendríamos que volver a ejecutar el programa aumentando el número de simulaciones. Y volveríamos a realizar esta comprobación por si hubiese que aumentar de nuevo el número de simulaciones.

5. CASOS PRÁCTICOS

5.1. CASO PRÁCTICO 1: EMPRESA 1 (TARIFA 3.1A)

La tarifa 3.1A es una tarifa que tiene 3 períodos: punta, llano y valle; siendo las horas punta donde el coste del término de potencia es mayor y las horas valle donde es menor.

Para llegar a la potencia es la óptima a contratar en cada período he creado unos vectores con las 12 medidas máximas que ha recogido el maxímetro de cada período y mes del año.

Se ha creado un programa alternativo para comparar el ahorro que se tendría con la potencia óptima, que resulta de ejecutar el programa para el año anterior al del estudio, y con la potencia real contratada del cliente para el año que estamos estudiando.

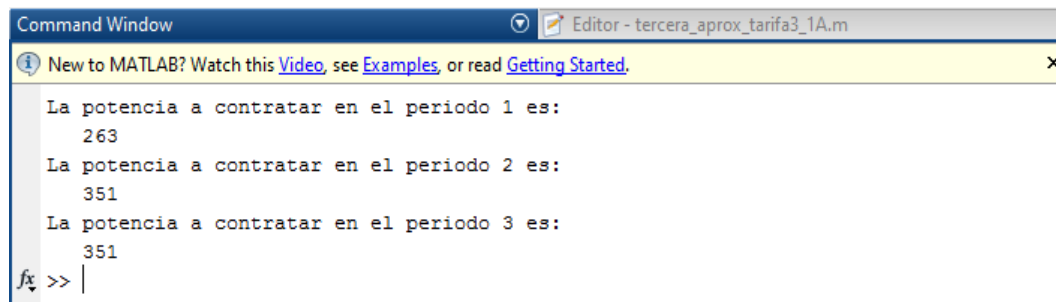
Los importes de los precios del término de potencia variarán según el período y sus unidades serán €/kW*año. Se han tomado los valores del año 2016.

	PRECIO TERMINO DE POTENCIA (€/KW*AÑO)		
TARIFA	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
3.1A	59,173468	36,490689	8,367731

Tabla 5.1

Partiendo de los registros del maxímetro de los años 2015 y 2016 de la Empresa1. Vamos a hallar la potencia óptima a contratar en el año 2015 y lo aplicaremos al año 2016. Para ver si realmente es efectivo el método tenemos que comprarlo con las potencias contratadas en el año 2016.

Las potencias óptimas calculadas para el año 2015 son las siguientes:



```
Command Window
Editor - tercera_aprox_tarifa3_1A.m

New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Getting Started.

La potencia a contratar en el periodo 1 es:
263
La potencia a contratar en el periodo 2 es:
351
La potencia a contratar en el periodo 3 es:
351
fx >> |
```

Ilustración 5.1

Se muestran las gráficas de cada período para la Empresa1, que comparan la potencia con el término de potencia y como hemos visto anteriormente la potencia óptima será la que haga el término de potencia mínimo.

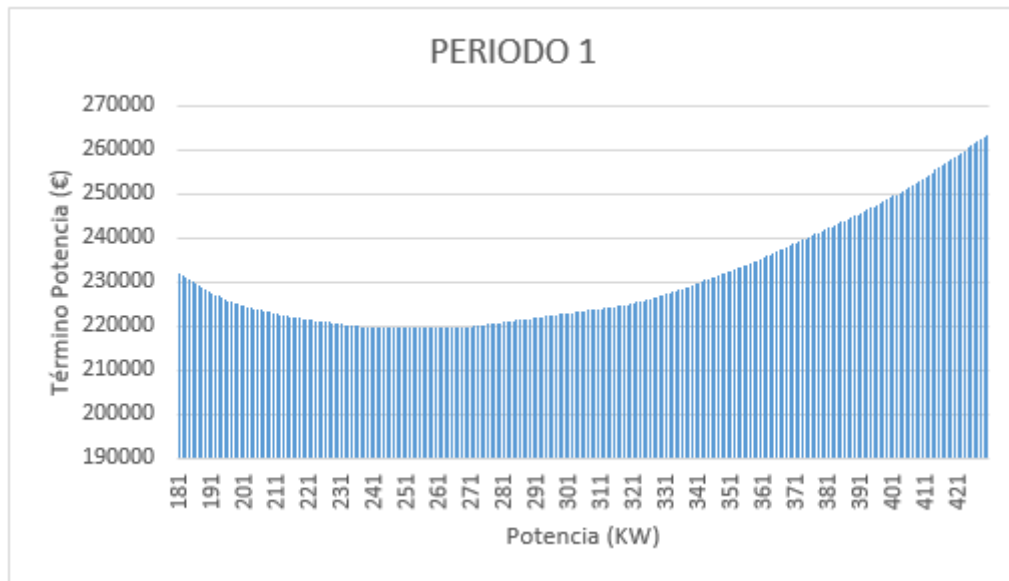


Gráfico 5.1

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 1 es 263 kW, como se puede comprobar en la gráfica.

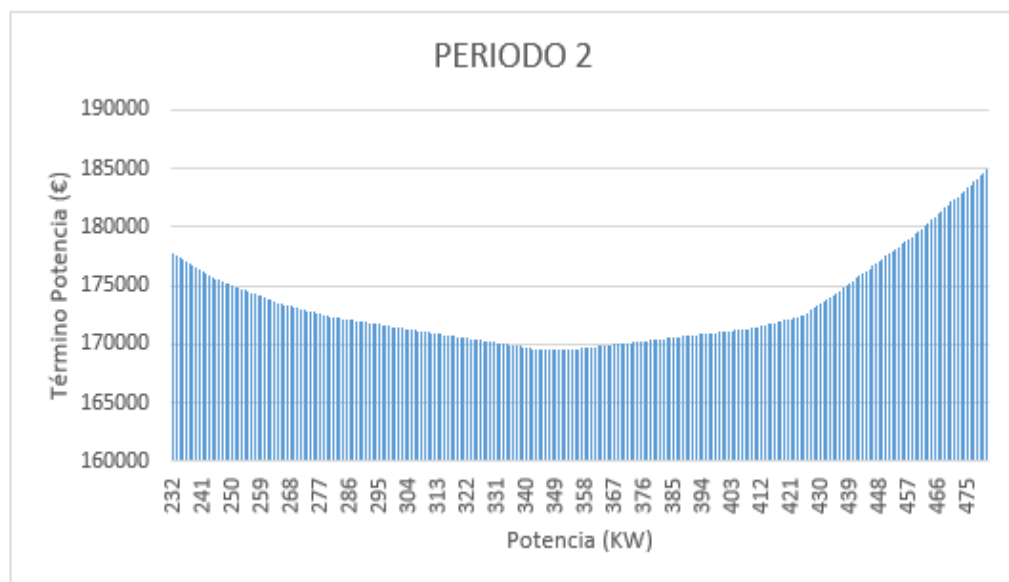


Gráfico 5.2

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 2 es 351 kW, como se puede comprobar en la gráfica.

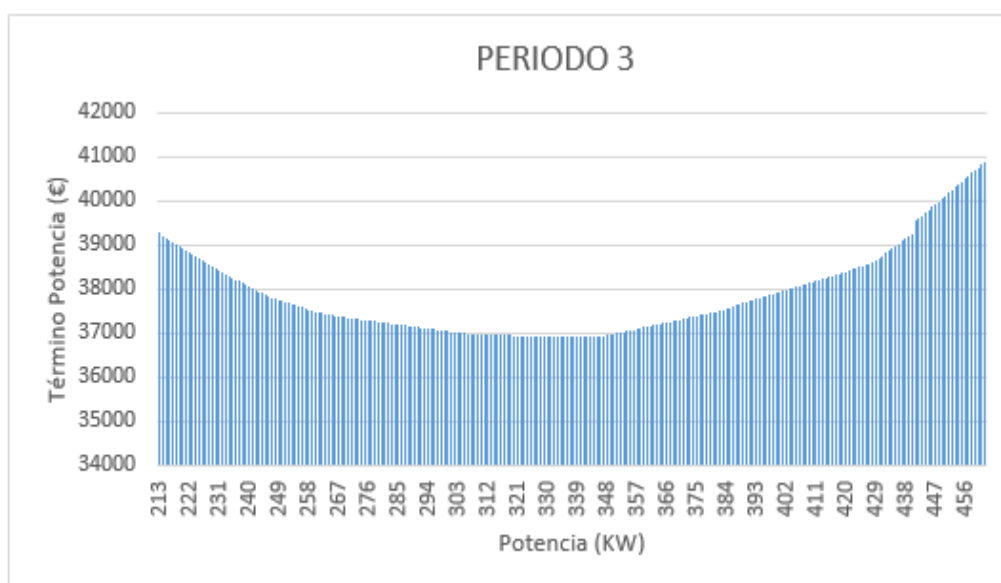


Gráfico 5.3

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 3 es 351 kW. En la gráfica se puede observar como la potencia óptima para este período debe ser inferior a la que nos indica el programa, pero esto es así por la restricción que dice: “Las potencias contratadas en los diferentes períodos serán tales que la potencia contratada en un período tarifario (P_{n+1}) sea siempre mayor o igual que la potencia contratada en el período tarifario anterior (P_n)”.

Las potencias contratadas reales de la Empresa 1 en el 2016 son:

$P_{c1}=300\text{kW}$; $P_{c2}=300\text{kW}$; $P_{c3}=300\text{kW}$.

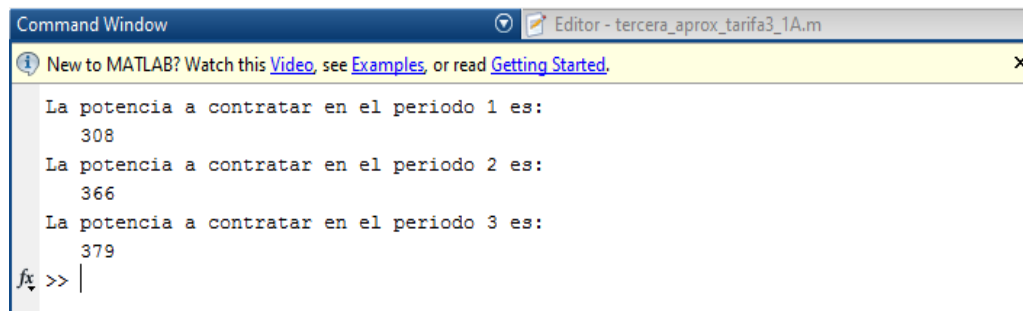
Estos son los resultados cuando se ha ejecutado el programa en ambos casos:

Empresa 1	Popt(2015)	Preal(2016)	AHORRO(€)
TP1(€)	266980	262490	-4490
TP2(€)	182540	188620	6080
TP3(€)	40891	43504	2613
Tptotal(€)	490411	494614	4203

Tabla 5.2

Podemos observar que el término de potencia en el período 1 (TP1) es mayor con la potencia óptima calculada que con la real contratada (4490€). En el TP2 se puede comprobar que hay un ahorro bastante considerable 6080€. Y en el TP3 también existe un ahorro de 2613€. Si nos vamos a lo más importante que es el balance anual, hubiésemos ahorrado en total 4203€ contratando las potencias óptimas calculadas en el año anterior.

Ahora vamos a ver cuáles serían las potencias óptimas a contratar en el año 2016, con los datos del 2016.



```
Command Window
Editor - tercera_aprox_tarifa3_1A.m

New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Getting Started.

La potencia a contratar en el periodo 1 es:
    308
La potencia a contratar en el periodo 2 es:
    366
La potencia a contratar en el periodo 3 es:
    379
fx >> |
```

Ilustración 5.2

Cabe destacar que hay factores que pueden influir mucho a la hora de contratar una potencia. Hay que ver si la empresa ha tenido un consumo regular a lo largo de los años o si por el contrario ha ido disminuyendo o aumentando de forma paulatina. Habría que estudiar cada período. En este caso, podemos observar que el consumo ha aumentado mucho en el año 2016.

Se podría calcular, de forma aproximada, el factor por el cual multiplicar las potencias óptimas de cada período calculadas. Convendría disponer de varios años de consumo para poder estudiarlos. También sería importante saber si va a crecer la producción de una empresa al año siguiente y en qué medida.

En esta tarifa tendríamos que calcular nosotros el ahorro obtenido una vez ejecutado el programa para las diferentes potencias: $P_{\text{óptima}}$ (2015) y $P_{\text{contratada}}$ (2016).

5.2. CASO PRÁCTICO 2: EMPRESA 2 (TARIFA 6.1A)

La tarifa 6 tiene seis períodos, además existen 6 tarifas diferentes que son: 6.1A, 6.1B, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5. Se contratará una u otra conforme a su nivel de tensión.

Cabe destacar que la tarifa 6.1 se divide en la 6.1A de 1-30kV y la 6.1B de 30-36kV, ya que en la *tabla 3.3* sólo aparece de forma general la tarifa 6.1.

Los importes de los precios del término de potencia variarán según el período y la tarifa y sus unidades serán €/kW*año. Se han tomado los valores del año 2016.

	PRECIO TERMINO DE POTENCIA (€/kW*AÑO)					
Tarifa	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
6.1A	39,139427	19,586654	14,334178	14,334178	14,334178	6,540177
6.1B	33,237522	16,633145	12,172701	12,172701	12,172701	5,553974
6.2A	22,158348	11,088763	8,115134	8,115134	8,115134	3,702649
6.3A	18,916198	9,466286	6,92775	6,92775	6,92775	3,160887
6.4A	13,706285	6,859077	5,019707	5,019707	5,019707	2,290315
6.5A	13,706285	6,859077	5,019707	5,019707	5,019707	2,290315

Tabla 5.3

Cuando ejecutamos el programa nos pide que indiquemos la tarifa contratada y una vez hecho nos da automáticamente las potencias óptimas a contratar en cada período.

Hemos tomado como ejemplo los datos de un cliente real que tiene contratada la tarifa 6.1A, la llamaremos “Empresa2”.

Por un lado, como en el caso anterior, dispongo del programa de optimización que te da la potencia óptima para el año estudiado. El año de estudio es el 2015 y aplicaríamos las potencias óptimas calculadas al año 2016 para poder comparar cuanto ahorraríamos si contratásemos las potencias calculadas, en lugar de las potencias reales contratadas.

El programa de optimización funciona de la manera siguiente:

1. Debemos preparar nuestra tabla de Excel con las medidas del año de estudio.
2. Ejecutamos el programa
3. Nos va a pedir que elijamos la tarifa que tenemos contratada

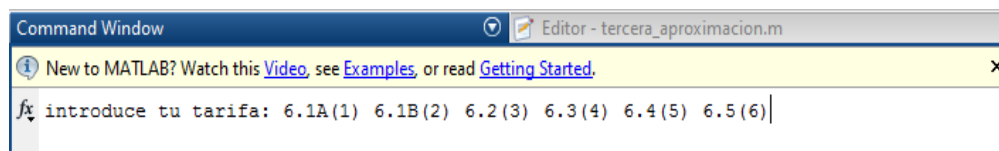


Ilustración 5.3

4. Una vez elegida la tarifa tendremos las potencias óptimas a contratar.

```

Command Window
Editor - tercera_aproximacion.m

New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Getting Started.

introduce tu tarifa: 6.1A(1) 6.1B(2) 6.2(3) 6.3(4) 6.4(5) 6.5(6)1
la tarifa elegida es la 6.1A
La potencia a contratar en el periodo 1 es:
    6666
La potencia a contratar en el periodo 2 es:
    6673
La potencia a contratar en el periodo 3 es:
    6730
La potencia a contratar en el periodo 4 es:
    6764
La potencia a contratar en el periodo 5 es:
    6764
La potencia a contratar en el periodo 6 es:
    6785

fx >>

```

Ilustración 5.4

Ya tenemos las potencias óptimas calculadas para la del año 2015. Como se puede comprobar se ha marcado 1 en el programa que corresponde con la tarifa 6.1A.

Las potencias óptimas del año 2015 se pueden observar en las siguientes gráficas:

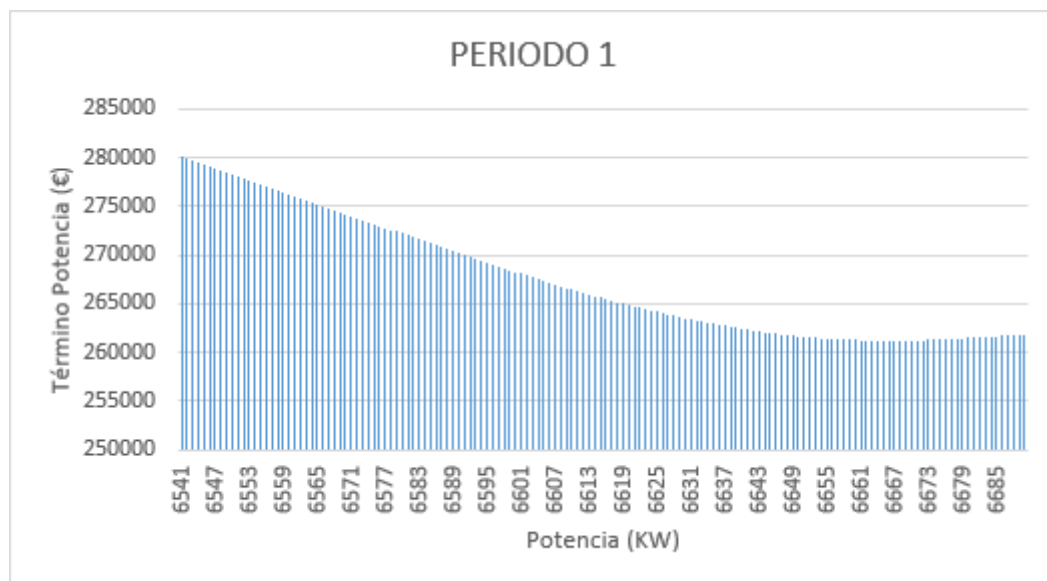


Gráfico 5.4

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 1 es 6666 kW.

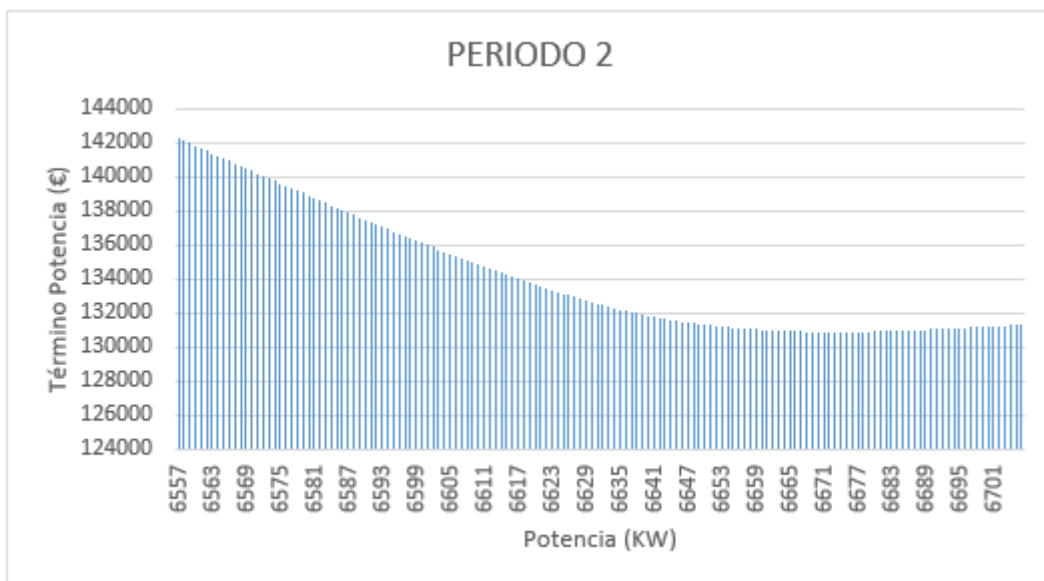


Gráfico 5.5

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 2 es 6673 kW.

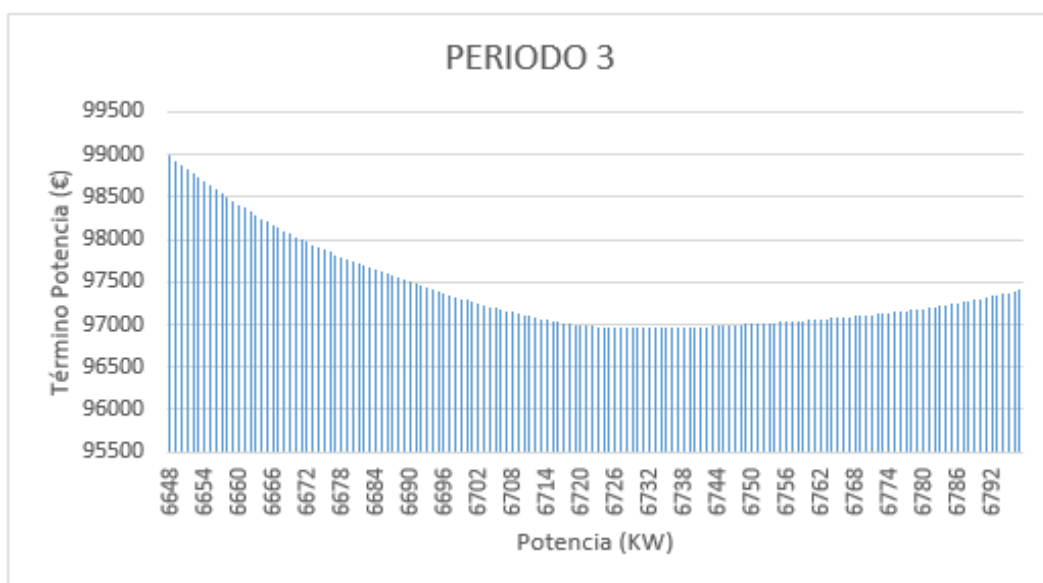


Gráfico 5.6

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 3 es 6730 kW.

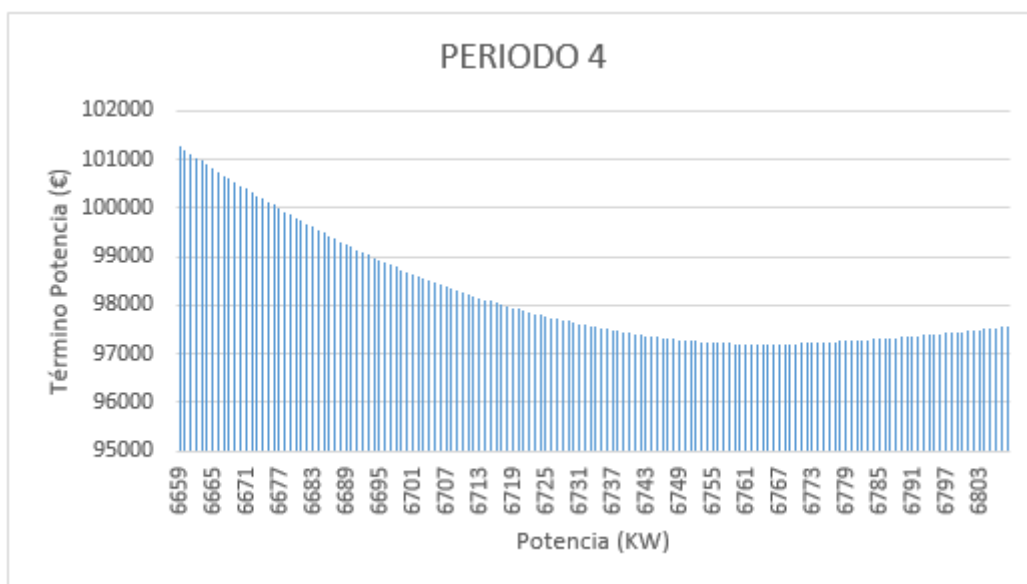


Gráfico 5.7

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 4 es 6764 kW.

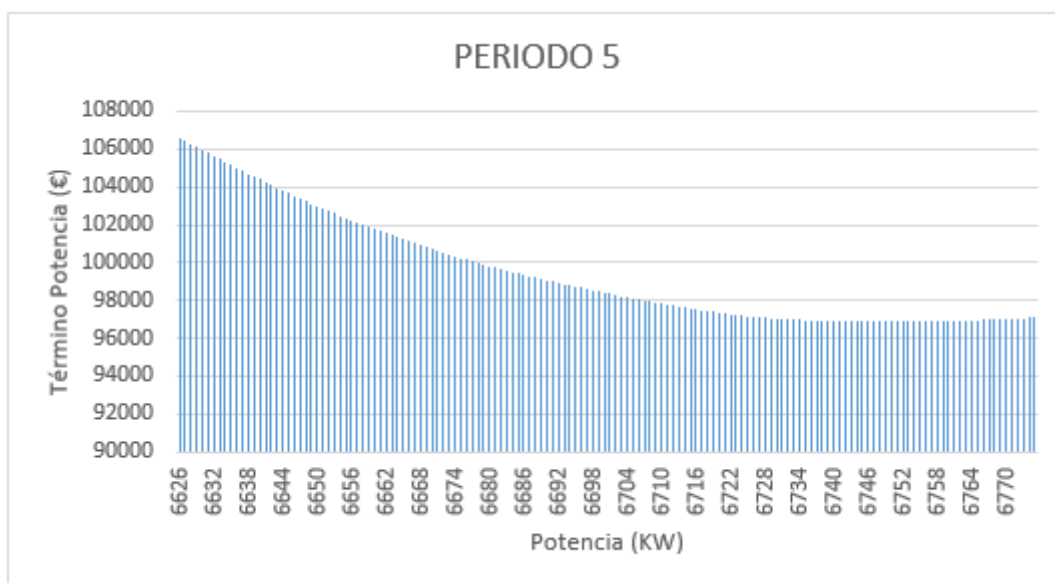


Gráfico 5.8

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 5 es 6764 kW.

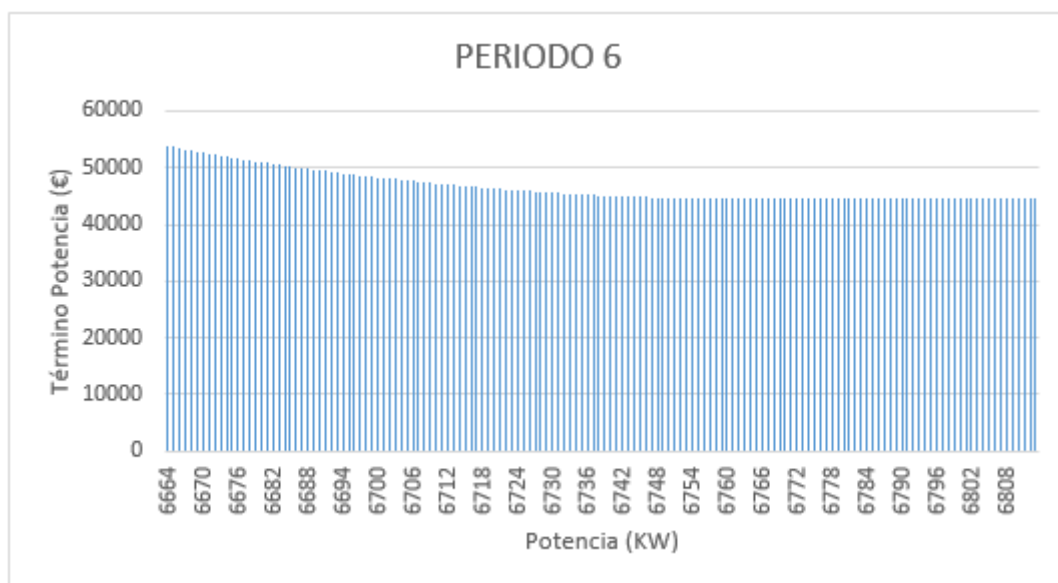


Gráfico 5.9

El programa nos indica que la potencia óptima para el período 6 es 6785 kW.

Como hemos explicado anteriormente en el punto 4.2, el método que hemos decidido para realizar las simulaciones ha sido coger siempre la potencia máxima que marca el maxímetro en cada período e ir reduciendo progresivamente de uno en uno este valor para poder determinar que potencia hace el término de potencia mínimo. En este caso concreto y para tener una mejor visualización de los resultados hemos realizado 150 simulaciones, pero por lo general utilizaremos unas 500-800 simulaciones para asegurarnos de que las potencias óptimas obtenidas son las correctas.

Partiendo de los registros del maxímetro de los años 2015 y 2016 de la Empresa2. Hemos hallado la potencia óptima a contratar en el año 2015 y lo aplicamos al año 2016. Para ver si realmente es efectivo el método, tenemos que compararlo con las potencias contratadas en el año 2016.

```

%Potencias optimizadas calculadas el año anterior(ejemplo año 2015):
p1opt=6666;
p2opt=6673;
p3opt=6730;
p4opt=6764;
p5opt=6764;
p6opt=6785;

%Potencias contratadas reales ese mismo año(ejemplo año 2016):
p1real=5600;
p2real=6300;
p3real=6300;
p4real=6300;
p5real=6300;
p6real=6300;

```

Ilustración 5.5

Cuando ejecutamos el programa para saber el ahorro que tendríamos con las potencias optimizadas respecto a las contratadas el programa muestra:

```

introduce tu tarifa: 6.1A(1) 6.1B(2) 6.2(3) 6.3(4) 6.4(5) 6.5(6)1
la tarifa elegida es la 6.1A
El ahorro tras la optimización de potencias es de
5.6148e+05
fx >>

```

Ilustración 5.6

Vamos a mostrar la comparativa del término de potencia anual:

Tpopt (€/año)	Tpreal (€/año)	AHORRO (€/año)	AHORRO %
727.809	1.289.290	561.481	43,55

Tabla 5.4

Como se puede apreciar hay un ahorro de más de un 43% en el término de potencia. Este gran ahorro es debido a que los excesos de potencia se penalizan mucho en la tarifa 6. Se tienen en cuenta todos los excesos de todas las medidas del maxímetro. En esta tarifa hemos conseguido que el programa nos muestre el ahorro directamente una vez introducidas las potencias óptimas del 2015 y las potencias contratadas del 2016.

5.3. CASO PRÁCTICO 3: EMPRESA 3 (TARIFA 6.2)

Los importes de los precios del término de potencia variarán según el período y la tarifa y sus unidades serán €/kW*año. Se han tomado los valores del año 2016.

Como en el caso anterior, cuando ejecutamos el programa nos pide que indiquemos la tarifa contratada y una vez hecho nos da automáticamente las potencias óptimas a contratar en cada período.

Hemos tomado como ejemplo los datos de un cliente real que tiene contratada la tarifa 6.2, la llamaremos “Empresa3”.

Por un lado, como en el caso anterior, dispongo del programa de optimización que te da la potencia óptima para el año estudiado. El año de estudio es el 2015 y aplicaríamos las potencias óptimas calculadas al año 2016 para poder comparar cuanto ahorraríamos si contratásemos las potencias calculadas, en lugar de las potencias reales contratadas.

El funcionamiento sería el mismo que en el caso práctico anterior, así que directamente voy a mostrar los resultados:

```
introduce tu tarifa: 6.1A(1) 6.1B(2) 6.2(3) 6.3(4) 6.4(5) 6.5(6) 3
la tarifa elegida es la 6.2
La potencia a contratar en el periodo 1 es:
    7038
La potencia a contratar en el periodo 2 es:
    7162
La potencia a contratar en el periodo 3 es:
    7162
La potencia a contratar en el periodo 4 es:
    7162
La potencia a contratar en el periodo 5 es:
    7162
La potencia a contratar en el periodo 6 es:
    7252
fx >> |
```

Ilustración 5.7

Se puede ver que se ha marcado 3 para elegir la tarifa 6.2, que es la que tiene contratada la Empresa3. Estas son las potencias óptimas del año 2015 que aplicaremos para el 2016.

Se ha tenido que hacer más simulaciones de potencia (600 simulaciones) que en el caso anterior (150 simulaciones) para llegar a conseguir el término de potencia mínimo, que nos marca que potencia contratar en cada período. Como ya hemos indicado anteriormente, para realizar las simulaciones se ha empezado desde la potencia máxima de cada período y se ha ido restando 1kW progresivamente dando como resultado diferentes valores del término de potencia. La potencia que daba el valor mínimo del término de potencia estaba alejada de la potencia máxima.

Período	P.MAXIMA	P.OPTIMA
1	7501	7038
2	7506	7162
3	7253	7162
4	7657	7162
5	7497	7162
6	7495	7252

Tabla 5.5

No vamos a mostrar las gráficas ya que con tantos datos de potencia en el eje x (600 simulaciones), no se van a poder observar los resultados con claridad.

Ahora vamos a ejecutar el programa que nos va a comparar las potencias óptimas obtenidas de los datos del 2015 y las potencias contratadas en el año 2016 de la Empresa3.

```
%Potencias optimizadas 6.2 calculadas el año anterior(año 2015) Empresa3:
p1opt=7038;
p2opt=7162;
p3opt=7162;
p4opt=7162;
p5opt=7162;
p6opt=7252;
```

Ilustración 5.8

```
%Potencias contratadas reales 6.2 ese mismo año(año 2016) Empresa3:
p1real=6700;
p2real=6700;
p3real=6700;
p4real=6700;
p5real=6700;
p6real=6700;
```

Ilustración 5.9

```
introduce tu tarifa: 6.1A(1) 6.1B(2) 6.2(3) 6.3(4) 6.4(5) 6.5(6)3
la tarifa elegida es la 6.2
El ahorro tras la optimización de potencias es de
    6.8327e+04
fx >> |
```

Ilustración 5.10

Se puede observar que se ha introducido el 3 que pertenece a la tarifa 6.2.

TPopt (€)	TPreal (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
455.283	523.610	68.327	13,05

Tabla 5.6

El ahorro obtenido con las potencias óptimas respecto a las reales contratadas sería de 68.327€ que corresponde a un ahorro del 13,05% sobre el término de potencia real (TPreal).

6. CONCLUSIONES

Cabe destacar que se han desarrollado dos métodos totalmente distintos para la optimización de la tarifa 3.1A y la tarifa 6.

La tarifa 3.1A no tiene una fórmula fija para hallar el término de potencia sino que depende de la potencia registrada por el maxímetro. Dependiendo si está por debajo del 85% de la potencia contratada, de si está entre el 85 y el 105% de la potencia contratada o de si es superior al 105% de la potencia contratada se calculará de una forma u otra.

En la tarifa 6 sí que disponemos de una fórmula fija para el cálculo del término de potencia. La complejidad de la programación de esta tarifa reside, sobretodo, en la complejidad de las fórmulas a emplear.

Además de los programas de optimización se han realizado otros dos programas para hacer el cálculo de lo que nos podríamos ahorrar usando las potencias óptimas calculadas respecto a otras potencias dadas (potencias contratadas reales). Se han desarrollado para demostrar la eficacia de estos programas de optimización. Estos programas también son distintos para la tarifa 3.1A y para la tarifa 6 por los motivos antes citados.

Tras el análisis del cálculo del término de potencia para la tarifa 3.1A y para la tarifa 6, puedo afirmar que:

- 1) Para la tarifa 3.1A el hecho de usar las medidas registradas del maxímetro cada hora no cambia el resultado de las potencias óptimas calculadas para esta tarifa, por tenerse sólo en cuenta las medidas máximas registradas por los maxímetros en cada período y para cada mes.
- 2) Para la tarifa 6, en cambio, como se tienen en cuenta todos los excesos, si sólo tenemos un dato cada hora, estamos obviando 3 posibles medidas que pueden exceder la potencia contratada y no se tienen en cuenta.

Por lo tanto, una mejora inmediata para el cálculo de las potencias óptimas a contratar en la tarifa 6 sería usar curvas de consumo cuarto-horarias, bastaría con modificar el tamaño de la matriz de los registros del maxímetro (matriz A) y la matriz auxiliar de índices (matriz B). Habría que ver que repercusión tendría este cambio en las potencias óptimas de contratación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- RD 1164/2001 de 26 Octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica (BOE núm.268)
- Orden ITC 2794/2007 de 27 de septiembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de octubre de 2007 (BOE núm.234)
- Orden IET/107/2014, de 31 de enero, por la que se revisan los peajes de acceso de energía eléctrica para 2014.
- Orden IET/2444/2014, de 26 de diciembre de 2014, por la que se determinan los peajes de acceso de energía eléctrica para 2015.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. Tiene como fin básico establecer la Regulación del Sector Eléctrico.
- MATLAB para Ingenieros de Holly Moore. Ed: Pearson Educación, México, 2007.
- Tutoriales de MATLAB, elaborado por Andrés F. Ramírez
URL: https://www.youtube.com/channel/UCzLFVTOKVComY_eApFUfrTA

8. ANEXO I: REFERENCIAS DE TABLAS

- Tabla 3.1 [Art.8.2 RD 1034/2001](#)
- Tabla 3.2 [Anexo II 3.2 Orden ITC 2794/2007](#)
- Tabla 3.3 [Art. 7 RD 1034/2001](#)
- Tabla 3.4 [Anexo II 3.3.3 Orden ITC 2794/2007](#)
- Tabla 3.5 [Anexo II 3.3.3 Orden ITC 2794/2007](#)
- Tabla 3.6 [Anexo II 3.3.3 Orden ITC 2794/2007](#)
- Tabla 3.7 [Art. 9.3 RD 1034/2001](#)
- Tabla 5.1 [Anexo I 1.4 Orden IET 107/2014](#)
- Tabla 5.2 [Creada con datos del programa.](#)
- Tabla 5.3 [Anexo I 1.4 Orden IET 107/2014](#)
- Tabla 5.4 [Creada con datos del programa.](#)
- Tabla 5.5 [Creada con datos del programa.](#)
- Tabla 5.6 [Creada con datos del programa.](#)

9. ANEXO II: REFERENCIAS DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 [Creada con datos del programa de la tarifa 3.1A.](#)

Gráfico 5.2 [Creada con datos del programa de la tarifa 3.1A.](#)

Gráfico 5.3 [Creada con datos del programa de la tarifa 3.1A.](#)

Gráfico 5.4 [Creada con datos del programa de la tarifa 6.1A.](#)

Gráfico 5.5 [Creada con datos del programa de la tarifa 6.1A.](#)

Gráfico 5.6 [Creada con datos del programa de la tarifa 6.1A.](#)

Gráfico 5.7 [Creada con datos del programa de la tarifa 6.1A.](#)

Gráfico 5.8 [Creada con datos del programa de la tarifa 6.1A.](#)

Gráfico 5.9 [Creada con datos del programa de la tarifa 6.1A.](#)

Nota: Todas las gráficas se han creado con datos obtenidos una vez ejecutados los programas. Se han usado los valores de los términos de potencia (eje y) para los diferentes períodos y las potencias de cada simulación (eje x).

10. ANEXO III: REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

- Ilustración 5.1 [Ilustración de resultados de la Empresa1 \(2015\).](#)
- Ilustración 5.2 [Ilustración de resultados de la Empresa1 \(2016\).](#)
- Ilustración 5.3 [Ilustración al ejecutar el programa para la tarifa 6.](#)
- Ilustración 5.4 [Ilustración de resultados de la Empresa2 \(2015\).](#)
- Ilustración 5.5 [Ilustración de las potencias para calcular el ahorro del caso práctico 2](#)
- Ilustración 5.6 [Ilustración que muestra el ahorro del caso práctico 2.](#)
- Ilustración 5.7 [Ilustración de resultados de la Empresa3 \(2015\).](#)
- Ilustración 5.8 [Ilustración que muestra las potencias optimizadas \(2015\).](#)
- Ilustración 5.9 [Ilustración que muestra las potencias contratadas \(2016\).](#)
- Ilustración 5.10 [Ilustración que muestra el ahorro del caso práctico 3.](#)

Nota: Todas las ilustraciones han sido tomadas de los programas de MATLAB realizados para este Trabajo Fín de Grado.